

小菜蛾对合成植物挥发物的活性反应

王香萍^{1,2}, 方宇凌¹, 张钟宁^{1*}

(1. 中国科学院动物研究所, 农业虫害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080;

2. 长江大学农学院, 湖北荆州 434025)

摘要: 在室内检验了小菜蛾已交配和未交配雌、雄成虫对 3 种合成植物挥发物乙酸顺-3-己烯酯(Z-3-hexenyl acetate, ACTE)、异硫氰酸丙烯酯(allyl isothiocyanate, NCS)和顺-3-己烯醇(Z-3-hexen-1-ol, OH)的触角电位(EAG)反应。不同浓度(0.008 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 0.08 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 0.2 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 0.8 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 8 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 20 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 和 40 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$)实验表明, 随着刺激化合物浓度的提高, 小菜蛾反应活性增强。但小菜蛾的性别及其交配状态可能影响其对 3 种化合物的反应强度。不同性别及交配状态的小菜蛾对 ACTE 的反应差异不大; 未交配雌、雄虫对 OH 的反应强于已交配雌、雄虫; 未交配雌虫对低浓度的 NCS 反应较强, NCS 超过一定浓度时已交配雌虫的反应强于未交配雌虫; 雄虫对 NCS 反应较小且与交配状态无关。以小菜蛾性信息素作为对照, 在湖北长阳和越南河内试验了这 3 种植物挥发物诱芯(6 μL /诱芯)对小菜蛾的引诱作用。结果表明, 在湖北, 第 1 天时 ACTE、NCS 对雄虫具有很强的引诱作用, 引诱量显著大于性诱剂的引诱量, 但随着诱芯放置时间延长, NCS 引诱作用迅速下降, 第 2 天时引诱作用已经很小; ACTE 的引诱作用下降缓慢, 第 4 天的诱蛾量才显著小于性信息素的诱蛾量, OH 的引诱力较弱。在河内, ACTE、NCS、OH 第 1 天对小菜蛾引诱作用很强, 引诱量大于性信息素, 但差异不显著, 随着诱芯放置时间延长, 3 种挥发物对小菜蛾的引诱量均下降很快, 第 4 天的引诱力就很弱。3 种植物挥发物的混合物(体积比 1:1:1)对小菜蛾的引诱作用与性信息素相似, 且诱蛾活性持效期相对较长。无论在越南或湖北, 植物挥发物或其混合物均很少引诱到雌虫。

关键词: 小菜蛾; 合成的植物挥发物; 性信息素; 触角电位; 诱捕效果

中图分类号: Q965 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2005)04-0503-06

Electroantennogram responses of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, to three plant volatiles and field trapping test

WANG Xiang-Ping^{1,2}, FANG Yu-Ling¹, ZHANG Zhong-Ning^{1*} (1. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China)

Abstract: Electroantennogram (EAG) responses of the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* to three plant volatiles, i.e. Z-3-hexen-1-ol (OH), Z-3-hexenyl acetate (ACTE) and allyl isothiocyanate (NCS), were tested in the laboratory. Tested with the volatiles at different concentrations of 0.008 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 0.08 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 0.2 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 0.8 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 8 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 20 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ and 40 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, DBM male or female had stronger responses to volatiles with higher concentration. Among the three volatiles, DBM had stronger response to NCS and ACTE. Responses to volatiles were different in male or female and in DBM mated or not. Field tests about captures by the three volatiles with 6 μL per lure were conducted in Hubei province, China and in the suburb of Hanoi, Vietnam. DBM males were more attracted by ACTE and NCS at the two places at the beginning of the test, but the number of moths attracted by volatiles decreased quickly with time. Mixture of the three volatiles as 1:1:1 in volume also had good attractive activity to the diamondback moth. Few females were attracted by the three plant volatiles or their mixture.

Key words: *Plutella xylostella*; synthetic plant volatile; sex pheromone; electroantennogram; trapping efficacy

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) (DBM) 属于鳞翅目菜蛾科, 是十字花科蔬菜的重要害虫之一。多年

来对小菜蛾的防治主要以使用化学农药为主, 不但使小菜蛾的抗性不断增加(闫艳春等, 1997; Talekar

基金项目: 国家重点基础发展规划项目(G20000162) 科技部国际合作项目(4-308J)

作者简介: 王香萍, 女, 1975 年 10 月生, 博士研究生, 从事化学生态学研究, E-mail: wxp7457-cn@sina.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zhangzn@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2004-06-18 接受日期 Accepted: 2005-06-10

and Shelton, 1993), 而且污染自然环境, 影响食品安全, 所以利用其他措施防治小菜蛾显得愈来愈重要。

许多植物在特定的时间和空间都会产生具有各自特性的气味。植食性昆虫如蛾类等可以通过对这些气味的反应来准确的寻找和确定寄主植物, 并将其作为取食、产卵或者交配的场所, 寄主植物的特异气味对害虫具有引诱作用(Metcalf, 1987)。绿叶气味是植物挥发物中含 6 个碳的醛、醇及其酯类的化合物(Visser *et al.*, 1979)。绿叶气味在植物中普遍存在, 但其含量与植物的生长状态及是否受到害虫为害等因素有关(姜永根和程家安, 2000)。许多试验表明绿叶气味不仅对害虫具有引诱作用, 而且对害虫信息素的产生、释放、行为反应及引诱活性有影响(Dickens *et al.*, 1990; Dickens *et al.*, 1993; Landolt *et al.*, 1994; Landolt and Phillips, 1997; Ruther *et al.*, 2002; 方宇凌和张钟宁, 2002; Reddy and Guerrero, 2004)。

十字花科植物的气味可以引诱 5 个目的昆虫, 被昆虫为害的某些十字花科的植物还释放特殊的气味物质如异硫氰酸丙烯酯等吸引其他昆虫, 但在正常的十字花科植物中并不含有此类物质(Pivnick *et al.*, 1994; Reddy and Guerrero, 2000)。在田间应用植物挥发物诱捕小菜蛾的研究相对较少, Pivnick 等(1994) 在田间研究了异硫氰酸丙烯酯对小菜蛾的引诱活性, 但其试验中没有区分此物质对小菜蛾雌雄虫的引诱差异。Reddy 和 Guerrero(2000) 测定了大白菜挥发物组分, 挥发物中不含有异硫氰酸丙烯酯, 但其组分乙酸顺-3-己烯酯对小菜蛾具有很强的引诱活性, 且对雌性的引诱能力大于对雄虫的引诱能力。在两者试验中使用的挥发物的浓度都比较高。本文主要比较了小菜蛾对此两种常见绿叶气味物质乙酸顺-3-己烯酯、顺-3-己烯醇和十字花科特有气味物质异硫氰酸丙烯酯在低浓度下的触角电位活性反应、田间诱捕能力及对雌、雄蛾引诱能力的差异, 探讨了利用植物挥发物防治小菜蛾的应用前景。

1 材料与方法

1.1 材料

植物挥发物: 异硫氰酸丙烯酯(NCS)(中国青浦白鹤蒋浦农化厂生产, 纯度 98%)、顺-3-己烯醇(OH) 和乙酸顺-3-己烯酯(ACTE)(日本东成化成工业株式会社, 纯度 > 99%)、性信息素(SP)(Z11-16:Ald, Z11-16:Ac 和 Z11-16:OH 比例为 50:50:1, 中国

科学院动物所合成)。

1.2 触角电位实验

1.2.1 虫源: 大量饲养小菜蛾参照陈之浩等(1990) 的方法, 但稍有改动, 将萝卜苗改为油菜苗。饲养温度为 25℃, 光照 16L:8D, 相对湿度 75%。收集小菜蛾的蛹分装于指形管中(直径 2 cm, 高 5 cm)。羽化后按雌雄 1:1 配对并确定交配情况(观察雌虫, 雌虫配对后次日即产卵)。分别取 2 日龄处女雌雄蛾、交配过的雌雄蛾在暗期内测定触角电位(electroantennogram, EAG)。

1.2.2 触角电位(EAG) 的测定: 触角电位装置参照方宇凌和张钟宁(2002) 的方法。将测试样品配成石蜡油溶液, 植物挥发物浓度分别为 0.008 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 、0.08 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 、0.2 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 、0.8 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 、8 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 、20 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 和 40 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 。每次吸 20 μL 溶液均匀滴于事先放置在滴管中的滤纸纸片(6 cm \times 0.5 cm) 上, 每次刺激时间为 0.1 s。刺激气体流量 20 mL/min, 每两次刺激时间间隔为 30 s 以上。重复 10 个触角。在整个测定过程中, 触角的反应会减弱, 且不同个体存在差异, 因此以标准化合物反-2-己烯醇为参比, 以等量的石蜡油作对照。测定样品和标准化合物前后分别用对照测定 1 次。

$$\text{EAG(相对值)} = \frac{\text{测试样品反应值} - \text{对照样品反应值}}{\text{标准样品反应值} - \text{对照样品反应值}}$$

1.3 田间诱捕试验

1.3.1 试验地点及时间: 湖北长阳县, 海拔高度 1 200 m, 试验于 2003 年 8 月份进行, 越南河内市郊, 试验于 2003 年 12 月份进行。试验田均种植甘蓝 *Brassica oleracea* var. *capitata* L., 试验时甘蓝均处于包心期。

1.3.2 试验安排: 将植物挥发物异硫氰酸丙烯酯(NCS)、顺-3-己烯醇(OH)、乙酸顺-3-己烯酯(ACTE) 以及三者混合物(NCS + OH + ACTE, 体积比为 1:1:1) 或性信息素(SP) 分别载入绿色天然橡胶的诱芯中(直径 2 cm, 长 2 cm), 植物挥发物载量为 6 μL /诱芯, 小菜蛾性信息素载量为 50 μg /诱芯。以装水的塑料盆(直径 20 cm, 高 5 cm) 作为诱捕器, 诱芯置于盆面中央, 水面距离诱芯 1 cm, 水内加入洗涤剂(5%), 诱捕器距离蔬菜叶冠 30 cm 左右, 诱捕器间距为 10 m。在湖北每个处理设 5 个诱盆, 在越南每个处理设有 3 个诱盆, 均重复 5 次。以性诱剂诱捕器内诱捕数量作为对照(CK)。每天统计植物挥发物及性诱剂诱盆内小菜蛾的数量并区分雌雄, 植物挥发物诱捕器内诱捕数量小于 2 时停止观察。

1.4 数据处理

所获数据用平均值 ± 标准误 (SE) 表示 , 差异显著性采用 Duncan 's 新复极差法或 *t* 检验。

2 结果与分析

2.1 触角电位 (EAG) 反应

2.1.1 小菜蛾对乙酸顺-3-己烯酯 (ACTE) 的反应 : 小菜蛾雌、雄蛾对 ACTE 的 EAG 反应都随着 ACTE 浓度的升高而加强。性别及交配与否对 EAG 反应的影响很小 , 如 ACTE 浓度在 40 μg/μL 时 , 小菜蛾交配过的雌、雄蛾及未交配雌、雄蛾的 EAG 反应值均在 0.6 与 0.7 之间(图 1 : A)。

2.1.2 小菜蛾对顺-3-己烯醇 (OH) 的反应 : 小菜蛾雌、雄蛾对 OH 的 EAG 反应随 OH 浓度升高增大较快 , 且未交配雌虫反应较未交配雄虫反应强度大 , 交配雌蛾的反应较交配雄蛾强。如未交配过的雌、雄虫在 20 μg/μL 下反应强度大于交配过的雌、雄虫在 40 μg/μL 下的反应强度(图 1 : B)。

2.1.3 小菜蛾对异硫氰酸丙烯酯 (NCS) 的反应 : 小菜蛾对 NCS 的反应则是在 NCS 低浓度时未交配雌虫反应比较敏感 , 在最低浓度下 EAG 反应相对值超过 0.5 , 但随着浓度升高 , 反应强度升高速率缓和 ; 未交配雌虫在低浓度下反应不敏感 , 但随着浓度升高 , 反应强度增大比率较快。交配或未交配雄蛾的反应相对不敏感(图 1 : C)。

但对三种植物挥发物来说小菜蛾对 NCS 和 OH 的 EAG 反应相对值较大 , 对 ACTE 的反应相对值小 , 所以在室内 EAG 反应中小菜蛾对前两种物质反应更为敏感。

2.2 植物源挥发物田间诱捕情况

2.2.1 在湖北长阳县甘蓝田的诱蛾效果 : 在诱芯设置当天 (第 1 天) NCS 诱捕的小菜蛾雄蛾最多 , 其次是 ACTE、CK , 而 OH 对小菜蛾引诱作用最弱。其中 NCS 引诱小菜蛾的数量显著高于 CK 引诱数量 , 但 NCS 引诱作用下降很快 , 第 2 天即只能诱到少量小菜蛾雄虫。而 ACTE 对小菜蛾的引诱力下降较慢 , 第 4 天的引诱量与 CK 引诱量差异显著 , OH 只能诱到少量的小菜蛾雄虫。三种植物挥发物均能诱到少量雌蛾 , 对照没有诱到小菜蛾雌蛾。在 4 天内的总诱捕量对照最多 , 其次为 ACTE 和 NCS , OH 的引诱量最少(表 1)。

2.2.2 在越南河内的诱捕效果 : 在诱芯设置当天 (第 1 天) , 三种植物挥发物均可引诱到小菜蛾 , 但从

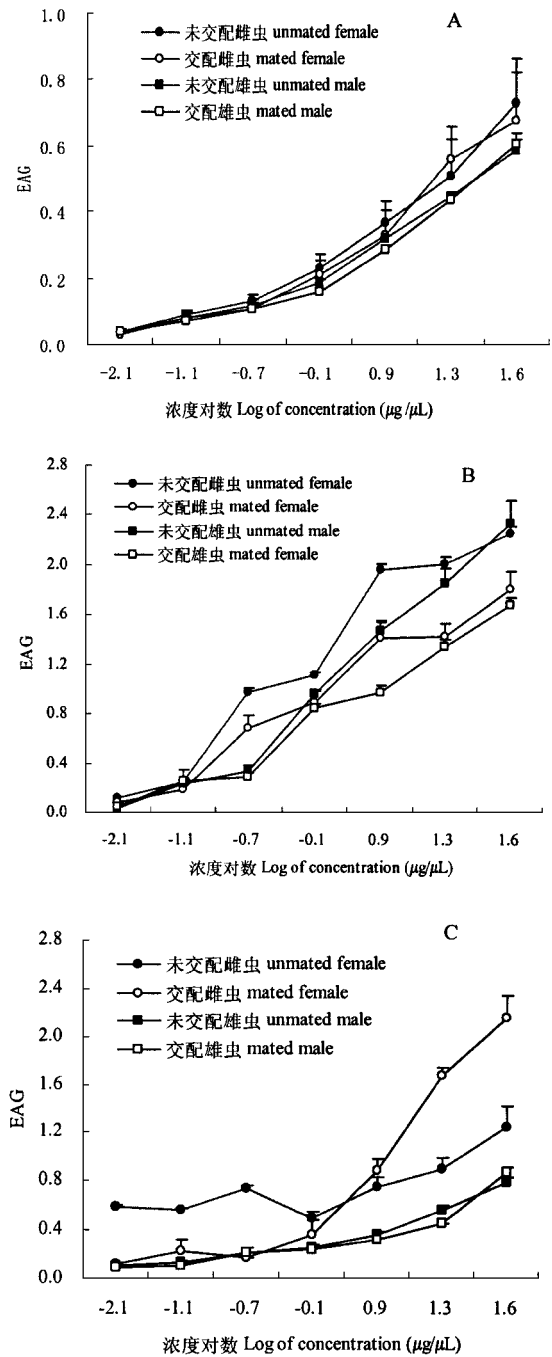


图 1 小菜蛾成虫对 ACTE (A) 、OH (B) 和 NCS (C) 的 EAG 反应

Fig. 1 EAG response of *Plutella xylostella* to ACTE (A) , OH (B) and NCS (C)

ACTE : 乙酸顺-3-己烯酯 Z-3-hexenyl acetate ;
NCS : 异硫氰酸丙烯酯 Allyl isothiocyanate ;
OH : 顺-3-己烯醇 Z-3-hexen-1-ol . 后同 The same below .
图中数据为小菜蛾的触角对挥发物反应相对值的平均值 ± 标准误。

The data in the figure were average EAG response to plant volatile . The bar indicated standard error .

第 2 天开始所有挥发物对小菜蛾的引诱数量下降 , 而且其引诱数量显著低于性信息素引诱数量 , 差异

都达到显著水平。3种植物挥发物均诱到少量雌蛾,对照没有诱到小菜蛾雌蛾。试验期间对照的诱捕效果较植物挥发物效果好。3种植物挥发物总诱量差异很小(表2)。

2.2.3 植物挥发物混合物在越南河内的诱蛾效果：

表1 含不同植物挥发物和性信息素诱芯在湖北诱捕小菜蛾雄虫数(2003.8)

诱芯放置天数 Day after lure set-up	ACTE	NCS	OH	SP(CK)
第1天 1st day	25.8±1.7 ab	41.1±9.0 a	3.2±0.6 c	13.4±2.0 bc
第2天 2nd day	26.7±1.3 a	4.0±0.6 c	2.6±0.6 c	16.2±2.5 b
第1天 3rd day	12.2±0.9 ab	1.7±0.7 b	1.4±0.1 b	22.4±6.8 a
第4天 4th day	4.5±0.7 b	1.4±0.3 b	1.2±0.2 b	18.5±2.7 a
合计 Total	69.2	48.2	8.4	70.5

表中数据为平均值±标准误,同行数据后各有不同字母表示差异显著($P<0.05$ 复极差检验)。SP(CK)为合成性信息素,后同。
The data in the table indicated mean ± SE, and those in the same row followed by different letters differed significantly at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. SP(CK) = synthetic sex pheromone. The same below.

表2 含不同植物挥发物和性信息素诱芯在河内诱捕小菜蛾雄虫数(2003.12)

诱芯放置天数 Day after lure set-up	ACTE	NCS	OH	SP(CK)
第1天 1st day	6.0±1.7 a	4.3±0.6 a	5.6±2.6 a	3.3±0.9 a
第2天 2nd day	0.5±0.1 b	1.9±0.5 b	1.5±0.3 b	4.8±0.9 a
第3天 3rd day	0.5±0.2 b	1.3±0.6 b	0.3±0.2 b	9.6±1.6 a
第4天 4th day	1.4±0.7 b	1.0±0.3 b	0.5±0.2 b	8.1±0.5 a
第5天 5th day	1.5±0.2 b	0.9±0.3 b	0.7±0.2 b	9.2±1.1 a
第6天 6th day	1.8±1.5 b	0.7±0.2 b	1.0±0.7 b	11.4±2.5 a
第7天 7th day	0.2±0.1 b	0.4±0.2 b	0.1±0.1 b	10.3±2.2 a
合计 Total	11.9	10.5	9.7	50

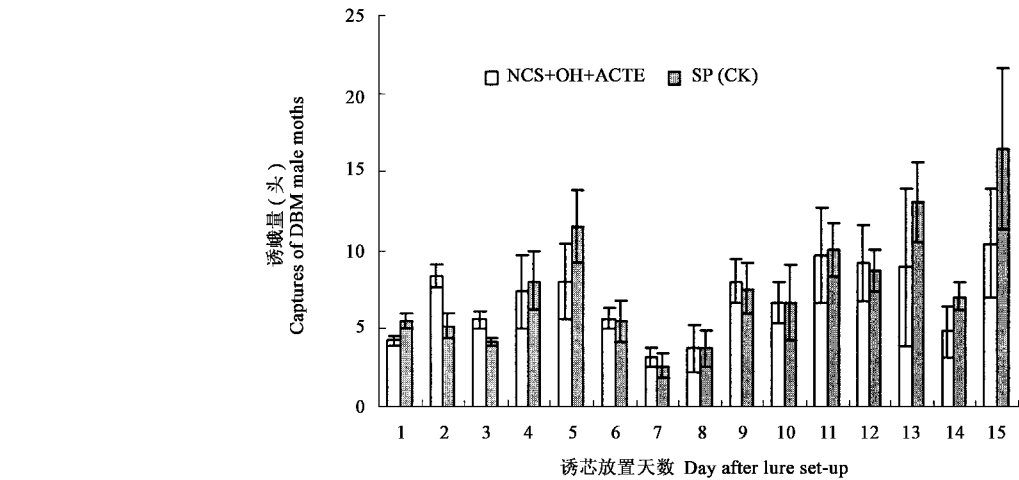


图2 三种植物挥发物混合物诱芯在越南河内诱捕的小菜蛾雄虫数(头)(2003.12)
Fig. 2 Captures of *P. xylostella* male moths by mixture of three plant volatiles per trap in Hanoi, Vietnam(December, 2003)
图中数据为混合物诱芯诱捕的小菜蛾平均值±标准误。
The data in the figure were average of moths captured with mixture of three plant volatiles. The bars indicated mean ± SE.

3 讨论

3.1 触角电位反应

EAG 实验表明小菜蛾对 OH 和 NCS 具有较强的反应活性,而且随着其浓度升高反应活性增大。对 NCS 的 EAG 反应则为未交配雌虫在低浓度下敏感,随其浓度升高反应强度增加较慢,交配过的雌虫随浓度升高反应强度增加较快;未交配过雌蛾对 OH 的反应最强,交配雌蛾与未交配雄蛾对其反应相差不大,交配雄蛾反应强度最低。推测 OH 可能在小菜蛾初步寄主定位中发挥重要作用。NCS 是蔬菜害虫黄条跳甲 *Phyllotreta cruciferae*、黄曲条跳甲 *P. striolata* (Feeny *et al.*, 1970; Pivnick *et al.*, 1992)、*Phaeodon cochleariae*、番茄象 *Listroderes costirostris obliquus*、甘蓝地种蝇 *Hylemya brassicae* (Eckenrode and Arn, 1972)、大菜粉蝶 *Pieris brassicae*、小菜粉蝶 *P. rapae* 和甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* (Free and Williams, 1978)等用以发现寄主的利它素, Rojas (1999)室内活性实验表明异硫氰酸丙烯酯(NCS)对甘蓝夜蛾具有很强的吸引作用。Eckenrode 和 Arn (1972)用 NCS 引诱甘蓝地种蝇时发现引诱的雌雄比约 1:1,推测 NCS 除作为产卵引诱剂之外也可能对两性进行交配具有刺激作用。Reed 等(1989)研究认为 NCS 在小菜蛾产卵中具有一定的作用,本实验室内活性实验同样表明 NCS 在引诱小菜蛾产卵中可能具有重要作用。

3.2 田间诱捕试验

Pivnick 等(1994)研究认为用异硫氰酸丙烯酯诱捕小菜蛾时需应用较高浓度(40 mg/d)才能有较好的效果,而低浓度诱捕效果很差。本试验中在河内或湖北应用植物挥发物总量为 6 μ L 第 1 天引诱效果很好,高于或相当于对照引诱效果,但植物挥发物引诱作用下降较快。Reddy 和 Guerrero(2000)应用 ACTE(1 000 μ L/诱芯)引诱小菜蛾时对雄虫引诱量少,对雌虫引诱量多,但本试验无论是在湖北还是越南三种植物挥发物或混合物诱盆中只发现少量的小菜蛾雌虫。高浓度与低浓度之间引诱差异的原因需进一步探讨。如能长时间保持此浓度下的挥发速率有可能仍对小菜蛾具有非常好的引诱作用。使用低浓度植物挥发物有利于降低防治小菜蛾的成本,这可以进一步深入研究。

植物挥发物混合物引诱作用的持效时间长、诱捕效果好。单一植物挥发物与其混合物引诱结果的

差异说明小菜蛾在定位中可能是应用综合气味进行的,但不同昆虫反应有可能不一致, Finch 和 Skinner (1982)研究植物挥发物混合物诱捕甘蓝地种蝇的效果并不比单一的异硫氰酸丙烯酯效果好。所以针对目标昆虫进行具体研究时,若应用挥发物混合物只需低浓度就可以达到很好的效果,有利于降低成本。

3.3 室内实验与田间试验的差异

室内研究中小菜蛾对 ACTE 的反应比较弱,但在野外试验时 ACTE 对小菜蛾诱捕的效果比较好;小菜蛾室内对 OH 反应比较强,但田间诱捕效果不理想,室内与自然条件下小菜蛾对植物挥发物的反应有一定差异。所以室内研究结果只能作为参考。

植物挥发物不但自身可以引诱害虫,而且对信息素作用也具有增强效果,这方面已有很多研究(Dickens, 1990)。而利用信息素防治害虫的研究相对比较成熟,利用植物挥发物对信息素的增强作用比单独利用信息素可能会收到更好的防治效果。植物挥发物对天敌也具有引诱作用,尤其是植物被害虫取食后释放的挥发物对捕食性或寄生性天敌具有更强的引诱作用(Reddy *et al.*, 2002; Reddy and Guerrero, 2004)。因此如能以适当的技术利用植物挥发物对天敌的引诱作用也可以加强天敌对害虫的控制作用。利用植物挥发物、植物挥发物对信息素的增效作用或植物挥发物对天敌引诱作用的增效等对综合治理虫害具有重要意义。

参 考 文 献 (References)

- Chen ZH, Liu CX, Li FL, Han ZJ, 1990. A primary report on the method for successive rearing the diamondback moth, *Plutella xylostella* in large scale. *Guizhou Agricultural Sciences*, (1): 52–53. [陈之浩, 刘传秀, 李凤良, 韩招久, 1990. 小菜蛾继代繁殖大量饲养方法研究初报. *贵州农业科学* (1): 52–53]
- Dickens JC, Jiang EB, Light DM, Alford AR, 1990. Enhancement of insect pheromone responses by green leaf volatiles. *Naturwissenschaften*, 77: 29–31.
- Dickens JC, Smith JW, Light DM, 1993. Green leaf volatiles enhance sex attractant pheromone of the tobacco budworm, *Heliothis virescens* (Lep.: Noctuidae). *Chemoecology*, 4: 175–177.
- Eckenrode CJ, Arn H, 1972. Trapping cabbage maggots with plant bait and allyl isothiocyanate. *J. Econ. Entomol.*, 65(5): 1 343–1 345.
- Fang YL, Zhang ZN, 2002. Influence of host plant volatile components on oviposition behavior and sex pheromone attractiveness to *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomologica Sinica*, 45(1): 63–67. [方宇凌, 张钟宁, 2002. 植物气味对棉铃虫产卵及田间诱蛾的影响. *昆虫学报*, 45(1): 63–67]
- Free JB, Williams IH, 1978. The responses of the pollen beetle, *Meligethes*

- aeneus*, and the seed weevil, *Ceuthorhynchus assimilis*, to oil-seed rape, *Brassica napus*, and other plants. *J. Appl. Ecol.*, 15(3):761 – 774.
- Feeny P, Paauwe KL, Demong NJ, 1970. Flea beetles and mustard oils: host plant specificity of *Phyllotreta cruciferae* and *P. striolata* adults (Coleoptera: Chrysomelidae). *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, 63:832 – 841.
- Finch S, Skinner G, 1982. Trapping cabbage root flies in traps baited with plant extracts and with natural and synthetic isothiocyanates. *Entomol. Exp. Appl.*, 31:133 – 139.
- Landolt PJ, Heath RR, Millar JG, Davis-Hernandez KM, Dueben BD, Ward KE, 1994. Effects of host plant *Gossypium hirsutum* L. on sexual attraction of cabbage looper moths, *Trichoplusia ni* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Chem. Ecol.*, 20(11):2 959 – 2 974.
- Landolt PJ, Phillips TW, 1997. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 42:371 – 391.
- Lou YG, Cheng JA, 2000. Herbivore-induced plant volatiles: primary characteristics, ecological functions and its release mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 20(6):1 097 – 1 106.[娄永根, 程家安, 2000. 虫害诱导的植物挥发物:基本特性、生态学功能及释放机制. 生态学报, 20(6):1 097 – 1 106]
- Metcalf RL, 1987. Plant volatiles as insect attractants. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences*, 3(3):251 – 301.
- Pivnick KA, Lamb RJ, Reed D, 1992. Response of flea beetles, *Phyllotreta* spp. to mustard oils and nitriles in field trapping experiments. *J. Chem. Ecol.*, 18(5):863 – 873.
- Pivnick KA, Jarvis BJ, Slater GP, 1994. Identification of olfactory cues used in host-plant finding by diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Chem. Ecol.*, 20(7):1 407 – 1 427.
- Reed DW, Pivnick KA, Underhill EW, 1989. Identification of chemical oviposition stimulants for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, present in three species of Brassicaceae. *Entomol. Exp. Appl.*, 53(3):277 – 286.
- Reddy GVP, Guerrero A, 2000. Behavioral response of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, to green leaf volatiles of *Brassica oleracea* subsp. *capitata*. *J. Agri. Food Chem.*, 48(12):6 025 – 6 029.
- Reddy GVP, Jarvis BJ, Slater GP, 2002. Olfactory response of *Plutella xylostella* natural enemies to host pheromone, larval frass, and green leaf cabbage volatiles. *J. Chem. Ecol.*, 28(1):131 – 143.
- Reddy GVP, Guerrero A, 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends in Plant Science*, 9(5):253 – 261.
- Rojas JC, 1999. Electrophysiological and behavioral response of the cabbage moth to plant volatiles. *J. Chem. Ecol.*, 25(8):1 867 – 1 883.
- Ruther J, Reinecke A, Hilker M, 2002. Plant volatiles in the sexual communication of *Melolontha hippocastani*: response towards time dependent bouquets and novel function of (Z)-3-hexen-1-ol as a sexual kairomone. *Ecol. Entomol.*, 27:76 – 83.
- Talekar NS, Shelton AM, 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.*, 38:275 – 301.
- Visser JH, Van Straten S, Maarsem H, 1979. Isolation and identification of volatiles in the foliage of potato, *Solanum tuberosum*, a host plant of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *J. Chem. Ecol.*, 5(1):13 – 25.
- Yan YC, Qiao CL, Qian CF, 1997. Advances in research on the insecticide resistance of diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Entomological Knowledge*, 34(5):310 – 315.[闫艳春, 乔传令, 钱传范, 1997. 小菜蛾抗药性研究进展. 昆虫知识, 34(5):310 – 315]

(责任编辑 袁德成)